

10/581632

AP3 Rec'd PCT/PTO 02 JUN 2006

### **Coriolis-Massedurchflussmesser**

Die Erfindung betrifft einen Coriolis-Massedurchflussmesser, der mindestens ein mittels einer Erregungseinheit in mechanische Schwingung versetzbares massedurchflossenes Rohr als Schwingungskörper aufweist, dessen in Abhängigkeit vom Massedurchfluss sich änderndes Schwingungsverhalten über mindestens einen Sensor zur Bestimmung des Massedurchflusses erfassbar ist. Daneben betrifft die Erfindung auch ein Verfahren zum Betrieb eines solchen Coriolis-Massedurchflussmessers.

Ein Coriolis-Massedurchflussmesser dient zur strömungsmechanischen Durchflussmessung von Fluidmassen und wird in Anlagen, in denen die Präzision des Massenstromes relevant ist, wie beispielsweise in Raffinerien, eingesetzt.

Aus der gattungsgemäßen DE 3007361 C3 ist bereits ein derartiger Coriolis-Massedurchflussmesser bekannt. Der Coriolis-Massedurchflussmesser, der in diesem Fall eine symmetrische Konstruktion aufweist, besteht im Wesentlichen aus einem Einflussflansch und einem Ausflussflansch der die Verbindung zwischen Ein- und Ausfluss-Rohrschenkeln und externen Ein- und Ausflussrohren herstellen. Ein Messrohr verbindet die Ein- und Ausfluss-Rohrschenkel so, dass sich für den Coriolis-Massedurchflussmesser eine Form wie den griechischen Buchstaben  $\Omega$  ergibt.

- 2 -

Allgemein bekannt sind auch Ausführungen mit doppelten, parallelen Rohrführungen. An den Verbindungsstellen befinden sich jeweils einen Ein- und einen Ausfluss-Aufnahmepunkte. Jeder Coriolis-Massedurchflussmesser der hier interessierenden Art basiert auf folgendem physikalischen Prinzip:

Eine Erregungseinheit versetzt das Messrohr in Schwingung. Die erfassten Schwingungen an den Ein- und Ausfluss-Aufnahmepunkten zeigen dieselbe Phase. Bei der Durchströmung des Coriolis-Massedurchflussmessers erfährt die Fluidmasse beschleunigte Schwingungsauslenkungen, die eine Corioliskraft erzeugen. Die ursprünglich sinusförmige, gleichförmige Schwingung des Rohres erfährt nun Einflüsse der entlang des Messrohres verteilten Corioliskraft, die bei den Ein- und Ausfluss-Aufnahmepunkten eine Phasenverschiebung verursacht. Es werden die Schwingungsphasen und Schwingungsamplituden an den Ein- und Ausfluss- Aufnahmepunkten mittels Ein- und Ausfluss-Sensoren aufgenommen und einer Auswerteeinheit zugeführt. Die Größe der Phasenverschiebung ist ein Maß für den Massedurchfluss.

Durch eine Kalibrierung wird für jeden Coriolis-Massedurchflussmesser festgelegt wie die Phasenverschiebung mit dem Massenfluss zusammenhängt. Die Größe der Phasenverschiebung ist abhängig von der Federsteifigkeit und Masse der Rohrführung. Die Federsteifigkeit ist wiederum abhängig von der Rohrgeometrie und der Materialsteifigkeit. Die Rohrgeometrie beschreibt beispielsweise den Nenndurchmesser und die Wanddicke des Rohres.

Solange die Materialdaten und die Rohrgeometrie unverändert bleiben, hat die durchgeführte Kalibrierung ihre Gültigkeit. Wenn jedoch die Geometrie des Rohres - beispielsweise die Wanddicke - sich ändert, dann gilt die einst durchgeführte Kalibrierung nicht mehr.

Nachteilig ist bei dem bekannten Coriolis-Massedurchflussmesser, dass hier eine abrasive und/oder korrosive, strömende Fluidmasse die Wandstärke der Rohrführung angreift und

- 3 -

abträgt. Solch ein Verschleiß ändert sowohl den Rohrenndurchmesser als auch die Rohrwanddicke und somit wird die Federsteifigkeit des Rohres verändert. Solch eine Veränderung der Rohrfedersteifigkeit verursacht bei dem gleichen Massendurchfluss eine veränderte Phasenverschiebung bzw. ein fehlerhaftes Maß für den Massedurchfluss.

Ein weiterer Nachteil ist die Zunahme der Materialermüdung auf Grund der Reduzierung der Wandstärke der Rohrführung und somit im Extremfall Bauteilversagen in Form von Ermüdungsbrüchen.

Die Aufgabe der Erfindung ist es daher, eine Maßnahme zu schaffen, die eine Vorhersage über den jeweiligen mechanischen Zustand der Rohrführung ermöglicht, um so einem Bauteilversagen vorzubeugen.

Die Aufgabe wird ausgehend von einem Coriolis-Massedurchflussmesser gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1 in Verbindung mit dessen kennzeichnenden Merkmalen gelöst. Die abhängigen Ansprüche geben vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung wieder.

Die Aufgabe wird erfindungsgemäß dadurch gelöst, dass zur Bestimmung des aktuellen Verschleißzustandes des Rohres die Erregungseinheit einen einmaligen Schwingungsimpuls an das Rohr abgibt, dessen Schwingungsantwort der mindestens eine Sensor erfasst, woraus eine nachgeschaltete Auswerteeinheit die aktuelle Dämpfungskonstante des Rohres berechnet und diese mit einer hinterlegten, ursprünglichen Dämpfungskonstante des Rohres im Neuzustand vergleicht.

Diese Lösung hat den Vorteil, dass die individuelle, charakteristische Kennlinie des Coriolis-Massedurchflussmessers und somit die Abklingkonstante der Rohrführung erfasst und als Maßstab für die Betriebssicherheit des Bauteiles benutzt werden kann. Diese Maßnahme kann sowohl als Detektor für den jeweiligen Betriebszustand des betreffenden erodierten und/oder korrodierten Coriolis-Massedurchflussmessers als auch als Nachweisführung für

- 4 -

die Abrasions- bzw. Korrosionsfestigkeit des betreffenden Coriolis-Massedurchflussmessers benutzt werden. Dieser Maßnahme kommt insbesondere in Hinblick auf Herstellerhaftung und in der Druckgeräterichtlinie geforderte Gefahrenanalyse und Vermeidung von Gefahren besondere Bedeutung zu.

Optimaler Weise findet bei Abgabe des einmaligen Schwingungsimpulses durch die Erregungseinheit an das Rohr ein Massedurchfluss nicht stattfindet, um die Verschleißzustandsmessung nicht durch Störgrößen zu beeinflussen. Das Dämpfungsverhalten des Coriolis-Massedurchflussmessers kann aber auch unter einem gleichzeitigen Massedurchfluss aufgezeichnet werden. Der störende Massedurchfluss kann anschließend mit einem Rechenprogramm eliminiert werden, welches die Fluiddaten wie die Viskosität, die Dichte, und die Schwingungsverhältnisse des Messrohres und die Betriebstemperatur berücksichtigt. Der Vorteil dieser Art der Erfassung des Dämpfungsverhaltens des Coriolis-Massedurchflussmessers ist, dass der Betrieb in einer kontinuierlich arbeitenden Anlage nicht unterbrochen werden muss.

Anstatt des meist verwendeten elektromagnetisch erregbaren Messrohrs aus Stahl kann auch ein elektromagnetisch neutrales Messrohr mit mindestens einer Erregungshilfe eingesetzt werden. Der Vorteil des Alternativmaterials für das Messrohr ist, dass in Abhängigkeit von der Fluidmasse und ihre korrosive bzw. abrasive Eigenschaft ein passendes Material eingesetzt werden kann.

Für das Messrohr können Keramikwerkstoffe eingesetzt werden. Der Vorteil der Keramikwerkstoffe für das Messrohr ist die Widerstandsfähigkeit dieser Werkstoffe gegen die Abrasion. Für das Messrohr können auch Kunststoffe eingesetzt werden. Der Vorteil der Kunststoffe für das Messrohr ist die Widerstandsfähigkeit dieser Werkstoffe gegen die Korrosion.

Weitere die Erfindung verbessernde Maßnahmen gehen aus den Unteransprüchen hervor oder werden nachstehend gemeinsam mit der Beschreibung eines bevorzugten Ausführungsbeispiels der Erfindung anhand der Figuren näher dargestellt. Es zeigt:

**Fig. 1** eine schematische Seitenansicht eines Coriolis-Massedurchflussmessers, und

**Fig. 2** eine Abklingkurve eines gedämpften Schwingungssystems.

Gemäß **Fig. 1** enthält ein Coriolis-Massedurchflussmesser u.a. einen Einflussflansch 1, der zusammen mit einem Einfluss-Rohrschenkel 3, einem Messrohr 9, einem Ausfluss-Rohrschenkel 4 und einem Ausflussflansch 2 eine Rohranordnung bildet, die eine Form wie den griechischen Buchstaben  $\Omega$  hat und durch die zu messende Fluidmasse durchströmt wird. Der Einflussflansch 1 verbindet ein externes Zuflussrohr zu dem Einfluss-Rohrschenkel 3. Der Ausflussflansch 2 verbindet ein externes Ausflussrohr zu dem Ausfluss-Rohrschenkel 4.

Der Einflussflansch 1 und der Ausflussflansch 2 dienen als Halterung für den Coriolis-Massedurchflussmesser. Eine Erregungseinheit 8 versetzt den Coriolis-Massedurchflussmesser durch eine einmalige Erregung in Schwingung. Das gedämpfte Schwingungsverhalten des Coriolis-Massedurchflussmessers wird mit Vorhandensein eines Massedurchflusses als eine charakteristische Kennlinie an einem Aufnahmepunkt 5 mittels eines Sensors 15, der an eine elektronische Auswerteeinheit 10 angeschlossen ist aufgezeichnet. Die Auswerteeinheit 10 ermittelt aus den Daten die für den aktuellen Zustand die charakteristische Kennlinie des Coriolis-Massedurchflussmessers.

Das in der **Fig.2** dargestellte Diagramm zeigt eine typische charakteristische Kennlinie die in der Beschreibung der **Fig.1** am Aufnahmepunkt 5 aufgezeichnet wurde.

- 6 -

Die Abszisse  $t$  zeigt die Zeit und die Ordinate  $A$  zeigt die Amplitude.

Für die Hüllkurve, die die Scheitelpunkte der Schwingung tangiert gilt:  $A = c \cdot e^{-\delta t}$

Wobei:

$c$  = Konstante

und

$\delta$  = Abklingkonstante.

Diese zwei Konstanten sind charakteristisch und fungieren als eine Art Fingerabdruck des jeweiligen Betriebszustandes des betreffenden Coriolis-Massedurchflussmessers. Hiermit ist es möglich den Verlauf der Veränderungen der Konstanten zu dokumentieren und einen Rückschluss auf das Abrasions- bzw. Korrosionsverhalten zu ziehen. Diese Maßnahme können benutzt werden um die Abrasions- bzw. Korrosionsbeständigkeit eines Coriolis-Massedurchflussmessers nachzuweisen.

- 7 -

**Bezugszeichenliste**

1	Einflussflansch	
2	Ausflussflansch	
3	Einfluss-Rohrschenkel	
4	Ausfluss- Rohrschenkel	
5	Einfluss-Aufnahmepunkt	
6	Ausfluss-Aufnahmepunkt	
7	Erregungshilfe	
8	Erregungseinheit	
9		Messrohr
10		Auswerteeinheit
15		Einfluss-Sensor
16		Ausfluss-Sensor

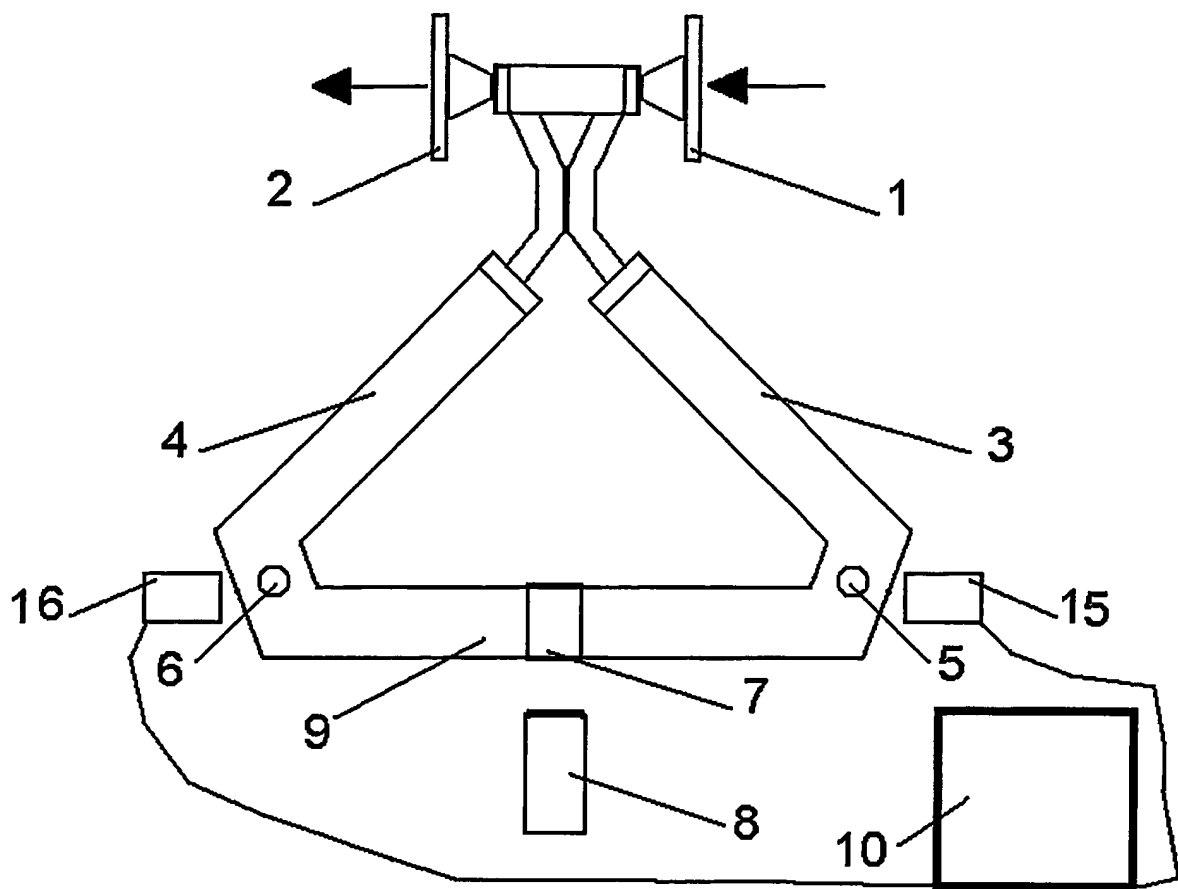
### Patentansprüche

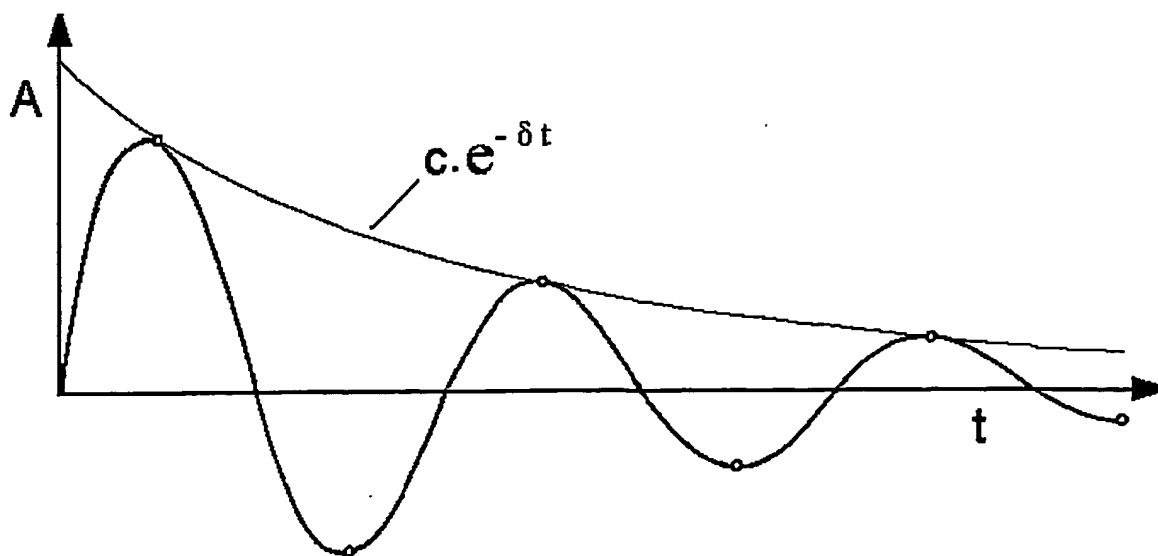
1. Coriolis-Massedurchflussmesser, mit mindestens einem mittels einer Erregungseinheit (8) in mechanische Schwingung versetzbaren massedurchflossenen Rohr (9) als Schwingungskörper, dessen in Abhängigkeit vom Massedurchfluss sich änderndes Schwingungsverhalten über mindestens einen Sensor (15, 16) zur Bestimmung des Massedurchflusses erfassbar ist, **dadurch gekennzeichnet**, dass zur Bestimmung des aktuellen Verschleißzustandes des Rohres (9) die Erregungseinheit (8) einen einmaligen Schwingungsimpuls an das Rohr (9) abgibt, dessen Schwingungsantwort der mindestens eine Sensor (15; 16) erfasst, woraus eine nachgeschaltete Auswerteeinheit (10) die aktuelle Dämpfungskonstante des Rohres (9) berechnet und diese mit einer hinterlegten, ursprünglichen Dämpfungskonstante des Rohres (9) im Neuzustand vergleicht.
2. Coriolis-Massedurchflussmesser nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass bei Abgabe des einmaligen Schwingungsimpulses durch die Erregungseinheit (8) an das Rohr (9) ein Massedurchfluss vorhanden ist, wobei dieser allerdings zur Ermittlung der individuellen Dämpfungskonstante des Rohres (9) von der Auswerteeinheit (10) rechnerisch eliminierbar ist.
3. Coriolis-Massedurchflussmesser nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass bei Abgabe des einmaligen Schwingungsimpulses durch die Erregungseinheit (8) an das Rohr (9) ein Massedurchfluss nicht stattfindet.



4. Coriolis-Massedurchflussmesser nach einem der vorstehenden Ansprüche,  
**dadurch gekennzeichnet**, dass an dem magnetisch neutralen Rohr (9) mindestens eine Erregungshilfe (7) angebracht ist, die als ein ferromagnetischer Körper ausgebildet ist, worüber das Rohr (9) durch die Erregungseinheit (8) in Schwingung versetzbar ist.
5. Coriolis-Massedurchflussmesser nach Anspruch 4,  
**dadurch gekennzeichnet**, dass das magnetisch neutrale Rohr (9) aus einem keramischen Material besteht.
6. Coriolis-Massedurchflussmesser nach Anspruch 4,  
**dadurch gekennzeichnet**, dass das magnetisch neutrale Rohr (9) aus einem Kunststoff besteht.
7. Verfahren zu Betrieb eines Coriolis-Massedurchflussmessers nach einem der vorstehenden Ansprüche,  
**dadurch gekennzeichnet**, dass zur Bestimmung des aktuellen Verschleißzustandes des Rohres (9), dieses durch die Erregungseinheit (8) mit einem einmaligen Schwingungsimpuls angeregt wird, wonach die Schwingungsantwort durch mindestens eine Sensor (15; 16) erfasst wird, woraus die aktuelle Dämpfungskonstante des Rohres (9) durch eine nachgeschaltete Auswerteeinheit (10) berechnet wird und diese mit einer hinterlegten, ursprünglichen Dämpfungskonstante des Rohres (9) im Neuzustand verglichen wird.

8. Verfahren nach Anspruch 7,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
dass bei Abgabe des einmaligen Schwingungsimpulses durch die Erregungseinheit (8) an das Rohr (9) ein Massedurchfluss stattfindet, wobei dieser allerdings zur Ermittlung der individuellen Dämpfungskonstante des Rohres (9) von der Auswerteeinheit (10) rechnerisch eliminiert wird.
9. Verfahren nach Anspruch 7,  
**dadurch gekennzeichnet,** dass bei Abgabe des einmaligen Schwingungsimpulses durch die Erregungseinheit (8) an das Rohr (9) ein Massedurchfluss nicht erfolgt.

Fig.1

Fig.2